INSTRUMENTACION

2.9 BRÚJULA.

La brújula, también llamada compás magnético, es un instrumento que al orientarse con las líneas de fuerza del campo magnético de la tierra, proporciona al piloto una indicación permanente del rumbo del avión respecto al Norte magnético terrestre. Este instrumento es la referencia básica para mantener la dirección de vuelo.

Fig.2.9.1 - Brújula.

En el capítulo 2.7 se detalla otro instrumento que proporciona también una referencia de la dirección de vuelo del avión, el indicador de dirección. Esta ¿duplicidad? o ¿ambiguedad? de instrumentos podría hacer surgir dudas en cuanto a cual de ellos es más fiable, o que ventajas e inconvenientes presenta uno respecto al otro. Antes de entrar en estas cuestiones, es necesario que conozcamos que es y como funciona la brújula.

2.9.1 Magnetismo.

Puesto que la brújula opera en base a principios magnéticos, primero unos principios básicos sobre esta fuerza.
El magnetismo es la fuerza de atracción o repulsión que se produce en algunas sustancias, especialmente aquellas que contienen hierro y otros metales como níquel y cobalto, fuerza que es debida al movimiento de cargas eléctricas. (1)

Cualquier objeto, por ejemplo una aguja de hierro, que exhibe propiedades magnéticas recibe el nombre de magneto o imán. Un imán tiene dos centros de magnetismo donde la fuerza se manifiesta con mayor intensidad, llamados polo Norte y polo Sur, dandose la circunstancia que polos del mismo signo se repelen mientras que polos de distinto signo se atraen. Unas líneas de fuerza magnética fluyen desde un polo hacia el otro, curvandose y rodeando al imán, denominandose campo magnético al área cubierta por estas líneas de fuerza.

Fig.2.9.2 - Imanes.

Si un imán se rompe, cada una de las piezas tendrá sus propios polo Norte y Polo Sur. Es imposible aislar un único polo con independencia de lo pequeños que sean los fragmentos. La posibilidad de la existencia de un único polo o monopolo está sin resolver y los experimentos en este sentido no han dado resultado.

Magnetismo terrestre. El fenómeno del magnetismo terrestre se debe a que toda la Tierra se comporta como un gigantesco imán. Aunque no fue hasta 1600 que se señaló esta similitud, los efectos del magnetismo terrestre se habían utilizado mucho antes en las brújulas primitivas. El nombre dado a los polos de un imán (Norte y Sur) se debe a esta similitud.

Un hecho a destacar es que los polos magnéticos de la Tierra no coinciden con los polos geográficos de su eje. Las posiciones de los polos magnéticos no son constantes y muestran ligeros cambios de un año para otro, e incluso existe una pequeñísima variación diurna solo detectable con instrumentos especiales.

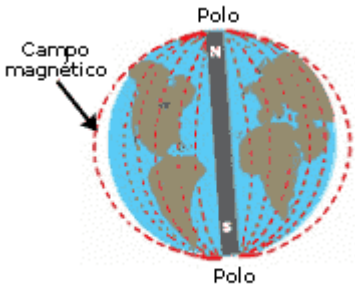

Fig.2.9.3 - Magnetismo terrestre.

El funcionamiento de la brújula se basa en la propiedad que tiene una aguja imantada de orientarse en la dirección norte-sur magnética de la tierra.

2.9.2 Construcción.

Este instrumento está formado por una caja hermética, en cuyo interior hay una pieza formada por dos agujas de acero magnetizadas alrededor de las cuales se ha ensamblado una rosa de rumbos. Este conjunto se apoya a través de una piedra preciosa, para minimizar rozamientos, sobre un eje vertical acabado en punta, de forma que su equilibrio sea lo más estable posible. La caja suele estar llena de un líquido no acido, normalmente queroseno, para reducir las oscilaciones, amortiguar los movimientos bruscos, aligerar el peso de la rosa de rumbos, y lubricar el punto de apoyo.

La rosa de rumbos está graduada de 5º en 5º, con marcas más grandes cada 10º, y cada 30º un número sin el cero final. Las orientaciones de los cuatro puntos cardinales se representan con sus iniciales (**N**=North, **S**=South, **E**=East, **W**=West).

Fig.2.9.4 - Componentes de una brújula.

En el frontal visible de la caja, un cristal, en el cual se ha pintado o grabado una marca o línea de fe, hace posible la lectura de los rumbos. En muchas ocasiones, la brújula dispone de una pequeña lámpara para poder realizar lecturas nocturnas.

2.9.3 Declinación.

Como se ha dicho anteriormente, el Norte geográfico y el Norte magnético no coinciden, hay una ligera diferencia. Puesto que las cartas de navegación indican el rumbo *geográfico,* se hace indispensable conocer y corregir esta diferencia.

Se denomina **declinación** a la diferencia angular entre el norte magnético y el norte geográfico. La declinación es *Este* cuando el norte magnético está al este del norte geográfico, y es *Oeste* cuando el norte magnético está al oeste del norte geográfico. En España la declinación es Oeste.

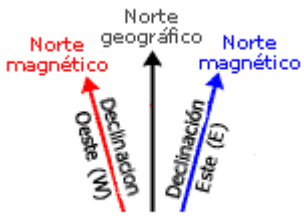

Fig.2.9.5 - Declinación.

Una vez obtenido el rumbo geográfico, se calcula el rumbo magnético: si la declinación de la zona es Este debe restarse el valor de la declinación; si la declinación es Oeste debe sumarse. Por ejemplo, si la declinación es de 5º Oeste, para volar a un lugar en el rumbo geográfico 210º hay que mantener un rumbo magnético de 210º+5º=215º.

Si la declinación es Este : Rumbo magnéticoº = Rumbo geográficoº - declinaciónº
Si la declinación es Oeste: Rumbo magnéticoº = Rumbo geográficoº + declinaciónº

La declinación varía de un lugar a otro. Dado que las variaciones no son muy grandes, se suele asumir una misma declinación para zonas geográficas próximas (p.ejemplo la Península Ibérica, uno o más Estados en EE.UU, etc...).

2.9.4 Errores en la lectura de la brújula.

La brújula está sujeta a errores provocados por la aceleración, la desaceleración y la curvatura del campo magnético terrestre en especial en altas latitudes. También suele oscilar, converger o retrasarse en los virajes y su lectura es especialmente difícil durante turbulencias o maniobras.

Los errores de tipo físico se deben principalmente a la fricción del liquido sobre la rosa de rumbos, a la falta de amortiguación de este líquido, o porque el propio líquido forma remolinos debido a turbulencias o maniobras bruscas. Estas circunstancias provocan balanceos y oscilaciones en la brújula que dificultan su lectura.

Con independencia de los errores físicos, lo que más complica la navegación con la brújula son los errores de tipo magnético. Estos se conocen como errores debidos a la inclinación (viraje) y a la aceleración o desaceleración.

Error de inclinación o viraje: Las líneas de fuerza del campo magnético terrestre tienen un componente vertical que es 0 en el Ecuador pero que constituyen el 100% de la fuerza total en los Polos. Esta tendencia de la brújula a inclinarse hacia abajo por efecto de la atracción magnética, produce en los virajes el siguiente comportamiento:

- Volando en un rumbo Norte, si se realiza un giro hacia el Este o el Oeste, la indicación inicial de la brújula se retrasará o indicará un giro hacia el lado contrario. Este desfase se va aminorando de manera que al llegar al rumbo Este u Oeste no existe error.
- Si se hace un giro hacia el Sur desde cualquier dirección, a medida que nos vamos aproximando al Sur la brújula se adelanta e indica un rumbo más al Sur que el real. Para sacar al avión en el rumbo deseado, el giro debe ser terminado con una indicación de la brújula pasado dicho rumbo.

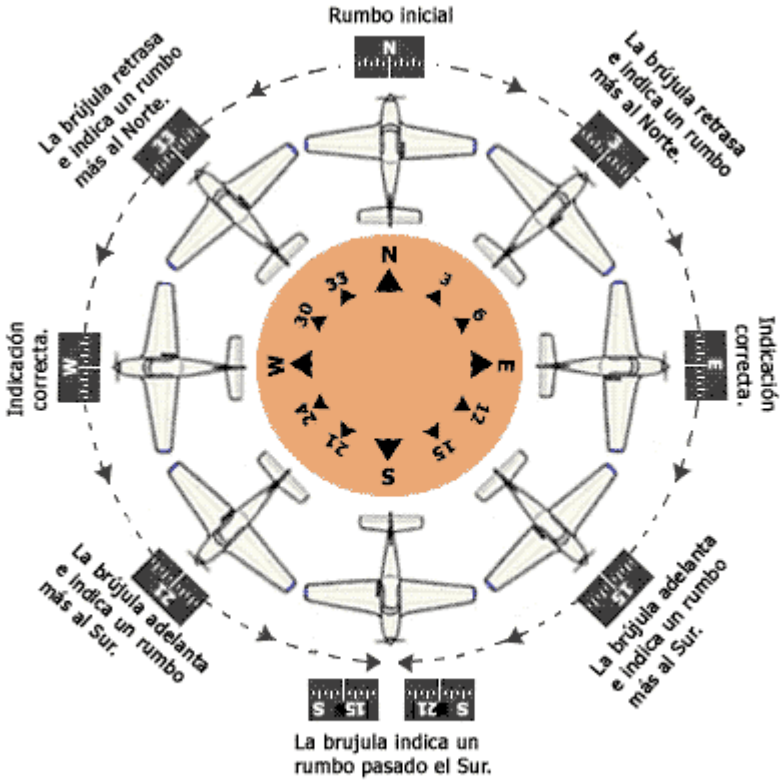

Fig.2.9.6 - Errores de viraje hacia rumbos Sur.

- Volando en un rumbo Sur, al realizar un giro al Este o el Oeste, la brújula se adelanta e indica un rumbo más allá al realmente seguido. Este adelanto también se va aminorando de forma que al llegar al rumbo Este u Oeste tampoco existe error.
- Si se hace un giro hacia el Norte desde cualquier dirección, cuando nos vamos aproximando al Norte la indicación de la brújula es de un rumbo más atrás del real. Para sacar al avión en el rumbo deseado, el giro debe ser terminado con una indicación de la brújula anterior a dicho rumbo.

Los errores de viraje se producen en rumbos Norte y Sur siendo prácticamente nulos en rumbos Este y Oeste. La cantidad de grados de retraso o adelanto es máxima en rumbos Norte (0º) y Sur (180º), y esta cantidad depende del ángulo de alabeo usado y de la latitud de la posición del aeroplano.
Como colofón a las explicaciones anteriores, podríamos concluir que el error de viraje produce que en el semicírculo Norte de la rosa de rumbos la brújula gire más despacio que el avión e indique rumbos retrasados; igual en rumbos Este y Oeste indicando rumbos correctos, y más deprisa en el semicírculo Sur indicando rumbos adelantados.

Fig.2.9.7 - Errores de viraje.

La regla nemotécnica para sacar al avión del viraje en rumbo correcto es: **N**orte (**NO** me paso) **S**ur (**S**i me paso)

Error de aceleración/deceleración: Debido a su montaje pendular, cuando se cambia de velocidad acelerando o decelerando, la brújula se inclina sobre su pivote y esta inclinación provoca que las agujas imantadas no coincidan correctamente con las líneas magnéticas terrestres. Este error es más aparente en los rumbos Este y Oeste, siendo prácticamente nulo en rumbos Norte y Sur.

- Cuando un avión manteniendo un rumbo Este u Oeste acelera o asciende, la brújula indicará en principio como si se estuviera virando al Norte. Cuando decelera o desciende, la brújula indica un viraje al Sur.

La regla nemotécnica es **ANDS** (**A**celera/Asciende=**N**orte, **D**ecelera/Desciende=**S**ur)

Importante: La descripción de estos errores corresponde a latitudes del hemisferio Norte. En el hemisferio Sur los errores se producen a la inversa.

2.9.5 Indicador de dirección y brújula.

Ahora que hemos visto como funciona la brújula, como está construida y cuales son los posibles errores en sus indicaciones, tenemos suficiente criterio para resolver las cuestiones planteadas al inicio de este capítulo.

El indicador de dirección, como se explica en el capítulo 2.7, es un instrumento más sofisticado y fiable que la brújula, pero sus indicaciones se basan en un referente proporcionado por el piloto (calaje del indicador de dirección), el cual se sirve de la brújula para este menester. Desde este punto de vista, ambos instrumentos ni son excluyentes entre sí ni existe duplicidad de funcionamiento entre ambos, realmente son complementarios.

Aunque el indicador de dirección también se desajusta, la brújula, como hemos visto en este capítulo, es susceptible de ciertos errores, produciendo además lecturas erróneas en presencia de campos magnéticos o por oscilaciones en turbulencias, cosa que no sucede con el indicador de dirección. Por otro lado, la brújula es muy sencilla en su construcción y se basa en propiedades inmutables lo cual la hace casi inmune a las averías, en tanto el indicador de dirección es más complejo y depende del funcionamiento del sistema de succión, lo cual deja a este último en inferioridad de condiciones a este respecto.

Supongamos por un momento que por alguna razón hemos calado mal el indicador de dirección y carecemos de brújula. ¿Como sabemos la dirección en la cual volamos?. Tendríamos que servirnos de referencias en la tierra que conociéramos previamente, lo cual no deja de ser una opción bastante enojosa, o lo que es más posible, estaríamos literalmente perdidos.

Conclusión: Normalmente, debido a la inestabilidad de las indicaciones de la brújula, se vuela por referencia al indicador de dirección, calando este periódicamente con las lecturas de la brújula en vuelo recto y nivelado. Pero como todos los aparatos, el indicador de dirección puede estropearse. En ese caso un buen piloto no tendrá problemas, navegará sirviendose de la brújula; un mal piloto estará perdido.

Sumario.

- La brújula es la referencia básica para mantener la dirección de vuelo.
- Al orientarse con el campo magnético terrestre proporciona una indicación permanente del rumbo del avión.
- Un imán tiene dos centros de magnetismo donde la fuerza se manifiesta con mayor fuerza. Estos centros se denominan polo Norte y polo Sur.
- La tierra se comporta como un imán gigantesco, aunque sus polos magnéticos no coinciden exactamente con sus polos geográficos.
- La diferencia angular entre los polos magnético y geográfico recibe el nombre de declinación.
- La declinación es Este si el Norte magnético está al Este del Norte geográfico. Es Oeste si el Norte magnético está al Oeste geográfico.
- El rumbo magnético se calcula sumando o restando la declinación al rumbo geográfico según que esta sea Oeste o Este respectivamente.
- La brújula está sujeta a errores, debidos principalmente a las características del campo magnético terrestre. Estos errores se denominan de viraje y de aceleración/desaceleración.
- Los errores de viraje se producen en rumbos Norte y Sur siendo inexistentes en rumbos Este y Oeste, y los errores de aceleración se producen en rumbos Este y Oeste siendo inapreciables en rumbos Norte y Sur.
- El error de viraje hace que la brújula gire más despacio que el avión en el semicírculo Norte de la rosa de los rumbos, iguale en rumbos Este y Oeste, y más deprisa en el semicírculo Sur.
- La regla nemotécnica para sacar el avión del viraje en el rumbo deseado es: **N**orte=**N**o me paso, **S**ur=**S**i me paso.
- Regla ANDS en errores de aceleración: **A**celera/**A**sciende=**N**orte; **D**ecelera/**D**esciende=**S**ur.
- El indicador de dirección es más fiable que la brújula, pero el piloto necesita de esta última para calar este indicador y como recurso en caso de fallo del indicador de dirección.
- Lo normal es volar atendiendo al indicador de dirección, calando este frecuentemente con las indicaciones de la brújula, tomadas en vuelo recto, nivelado y no acelerado.

© M.A.Muñoz Oct/2000

---

(1). Debido a que los electrones tienen carga eléctrica y un movimiento de giro, pueden ser considerados como cargas eléctricas en movimiento. En muchos átomos todos los electrones están apareados en un mismo nivel de energía; los electrones de cada par tienen giros opuestos y sus campos magnéticos se cancelan, pero en algunos átomos hay más electrones que giran en un sentido que en otro, resultando un campo magnético neto del átomo en su conjunto.